



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 04 806 A 1**

⑤1 Int. Cl. 5:  
**F02 D 13/00**  
F01 L 1/34

②1 Aktenzeichen: P 40 04 806.3  
②2 Anmeldetag: 16. 2. 90  
④3 Offenlegungstag: 22. 8. 91

DE 4004806 A1

⑦1 Anmelder:  
Asea Brown Boveri AG, Baden, CH

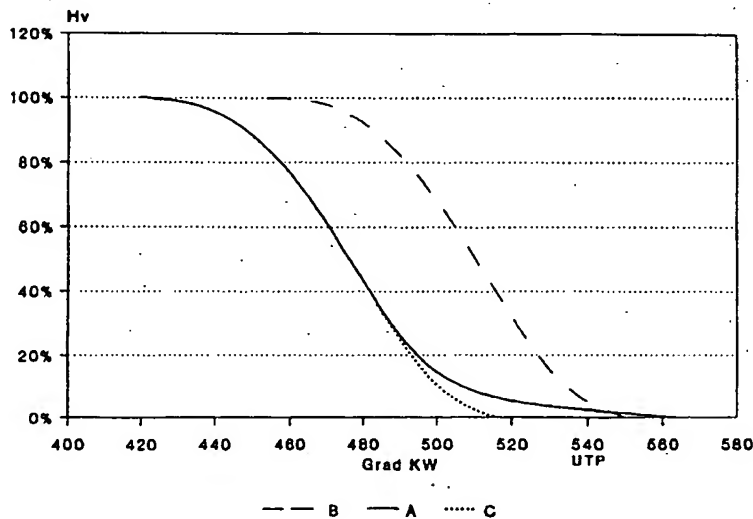
⑦4 Vertreter:  
Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6242 Kronberg

⑦2 Erfinder:  
Baets, Josef, Dipl.-Ing., Baden, CH

⑤4 Verfahren zum Betreiben einer 4-Takt Brennkraftmaschine

⑤7 Bei einem Verfahren zum Betreiben einer hochaufgeladenen 4-Takt-Brennkraftmaschine sind die Ventilsteuerzeiten so gewählt, daß im Indikatorgramm die Kompressionsphase kürzer ist als die Expansionsphase. Die Einlaßventile weisen in ihrer Charakteristik im überwiegenden

Verlauf eine übliche Einlaß-Schließflanke auf, werden jedoch während der letzten 30% Ventilhub verzögert geschlossen, so daß der geometrische Schließpunkt zeitlich nach dem unteren Totpunkt liegt.



DE 4004806 A1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer vorzugsweise hochaufgeladenen 4-Takt Brennkraftmaschine mit Ventilsteuerzeiten, welche so gewählt sind, daß im Indikatordiagramm die Kompressionsphase kürzer ist als die Expansionsphase.

## Stand der Technik

Ein derartiges Verfahren ist bekannt aus der Publikation von E.F. Obert: "Internal Combustion Engines and Air Pollution", Intext Educational Publishers, 3rd Edition, 1968. In dieser Publikation wird auf Seite 175 erwähnt, daß bei Verbrennungsmotoren eine Brennstoffreduzierung möglich ist, wenn die Expansionsphase länger ist als die Kompressionsphase. Ein solcher Arbeitsprozeß kann beispielsweise durch Steuerung der Einlaß- und/oder Auslaßventile erreicht werden.

Ferner wird auf Seite 179 dieser Publikation der idealisierte Arbeitsprozeß eines Verbrennungsmotors dargestellt; und auf Seite 215 erfährt man, daß durch Aufladung zu einer höheren Leistung erzielt werden und zum andern der Brennstoffverbrauch durch positive Ladungswechselungsarbeit reduziert werden kann.

Schließlich lehrt diese Publikation auf Seite 616—617, daß hochaufgeladene Motoren mit Vorteil tiefe Verdichtungsverhältnisse zur Reduzierung des Maximaldruckes haben.

Diese Erkenntnisse führen zur Schlußfolgerung, daß bei Vollast des Verbrennungsmotors die Expansionsphase länger sein sollte als die Kompressionsphase und daß die effektive Verdichtung während der Kompressionsphase tief sein muß. Andererseits wird das Startverhalten des Verbrennungsmotors hingegen verbessert durch hohe Verdichtungsverhältnisse. Somit sollte der Motor ein variables Verdichtungsverhältnis haben.

Bisher sind tatsächlich verschiedene Lösungen vorgestellt worden, z. B. der BICERA Variable-Verdichtungsmotor (siehe Obert Seite 618) oder die sogenannten Miller-Systeme (US-PS 28 17 322). Letztere unterscheiden sich von den üblichen Aufladesystemen durch den veränderlichen Schließzeitpunkt des Einlaßventils, wobei mit zunehmender Last das Einlaßventil immer früher geschlossen wird, so daß der Zylinder nur unvollkommen mit Ladeluft gefüllt wird. Alle bekannten Systeme haben jedoch den Nachteil eines relativ komplizierten Verstellmechanismus.

## Darstellung der Erfindung

Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, welches ohne zusätzliche mechanische Verstellmittel der Ventile die stipulierte Reduzierung des Brennstoffverbrauches bewirkt, ohne dabei den Startvorgang zu beeinträchtigen.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die Einlaßventile in ihrer Charakteristik im überwiegenden Verlauf eine übliche Einlaß-Schließflanke aufweisen, und daß vorzugsweise während der letzten 30% Ventilhub die Einlaßventile verzögert geschlossen werden, so daß der geometrische Schließpunkt zeitlich nach dem unteren Totpunkt liegt.

Der besondere Vorteil der Erfindung ist in der Ein-

fachheit der Maßnahme zu sehen, d. h. das angestrebte Ziel wird erreicht durch die bloße Wahl von speziellen Ventilerhebungskurven, insbesondere am Ende deren Einlaßschließflanken. Durch die speziellen Steuerzeiten kann der Wirkungsgradüberschß — insbesondere bei zweistufiger Aufladung mittels beispielsweise Abgas-turboladern — via Gaswechselarbeit zurückgewonnen werden.

## Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung vereinfacht dargestellt. Erläutert wird die Erfindung anhand der Steuer- und Indikatordiagramme für einen aufgeladenen, mittelschnellaufenden 4-Takt Dieselmotor. Es zeigen

Fig. 1 den Verlauf des Ventilhubes (Hv), dargestellt in Funktion der Kurbelwellenposition (Grad KW);

Fig. 2 den Zylinderdruck (Pz) als Funktion des Verhältnisses Zylinder-Volumen zu Kolbenhub-Volumen ( $V_z/V_h$ ) während des Ladungswechsels eines Dieselmotors;

Fig. 3 den Zylinderdruck (Pz) als Funktion des Verhältnisses Zylinder-Volumen zu Kolbenhub-Volumen ( $V_z/V_h$ ) während des Einlaßhubes eines Dieselmotors.

## Weg zur Ausführung der Erfindung

Nicht gezeigt ist das an sich bekannte Schema eines mittels Turbolader aufgeladenen Motors. Es sei angenommen, daß der Motor mit zwei Aufladegeräten aufgeladen ist, wobei die Verdichter der Aufladegeräte in Serie hintereinandergeschaltet sind, mit oder ohne Zwischenkühlung.

Die Einlaßventile des 4-Takt-Verbrennungsmotors weisen eine Schließflanke entsprechend Kurve A in Fig. 1 auf, welche die Ventilerhebung als Funktion der Kurbelwellenposition zeigt. Die Kurve A zeichnet sich aus durch das verzögerte Schließen des Ventils im Vergleich zu einer normalen, zum Stand der Technik zählenden Schließflanke gemäß Kurve B in Fig. 1. Bei normalen Betriebsdrehzahlen entspricht die Zylinderfüllung somit einer Einlaßschließflanke C in Fig. 1, die einen Schließpunkt hat, welcher vor dem unteren Totpunkt (UTP) liegt. Beim Starten des Motors entspricht hingegen die effektive Zylinderfüllung der Schließflanke B in Fig. 1 und ist somit größer als die Zylinderfüllung gemäß Kurve C.

Kurve A entspricht in ihrem Verlauf Kurve B, ist aber verschoben und wird am Ende der Flanke verzögert geschlossen. Bei üblichen Ventilerhebungskurven würde Kurve C in Fig. 1 in der Formgebung das Ende der Schließflanke darstellen und somit das Ventil in Fig. 1 schon bei 515° KW geschlossen sein. Kurve A entspricht einem Ventil, das erst später völlig geschlossen ist, beispielsweise bei den in Fig. 1 dargestellten 565° KW.

Folgendermaßen wirkt die Erfindung: Bei hohen Motordrehzahlen kann während der letzten 30% Ventilhub von Kurve A nicht mehr viel Luft durch das geöffnete Ventil strömen, da der Hub klein ist und die zur Verfügung stehende Zeit kurz ist. Anlaßlich dieses Verlaufs ist die Drosselung der Strömung groß; die im Ergebnis erreichte Zylinderfüllung entspricht ungefähr der Ventilschließflanke gemäß Kurve C in Fig. 1.

Beim Starten des Motors hingegen ist die Motordrehzahl niedrig und die oben erwähnte Drosselung des durchströmten Querschnitts ist klein; die Zylinderfüllung entspricht deshalb ungefähr dem maximal erreich-

baren Volumen, gegeben durch den Kolbenhub.

Damit sind die stipulierten Ziele erreicht, nämlich hohes Verdichtungsverhältnis beim Starten des Motors und tieferes Verdichtungsverhältnis bei normalem Betrieb, wobei im letzten Fall die Expansionsphase länger ist als die Kompressionsphase.

Anhand von Simulationsrechnungen für einen mittelschnelllaufenden Dieselmotor kann die Auswirkung dieser Ventilsteuerung erklärt werden unter Verweis auf Fig. 2.

Diese zeigt den Zylinderdruck ( $P_z$ ) als Funktion des Verhältnisses Zylinder-Volumen zu Kolbenhub-Volumen ( $V_z/V_h$ ) während des Ladungswechsels des Dieselmotors. Kurve A entspricht wiederum der Betrieb mit Einlaßventil-Schließflanke gemäß Kurve A in Fig. 1; Kurve B entspricht der Betrieb mit Einlaßventil-Schließflanke gemäß Kurve B in Fig. 1. Bemerkenswert ist die Expansion am Ende des Einlaßprozesses von Kurve A (angedeutet mit \* in Fig. 2). Damit wird die Zylinderfüllung reduziert. Um die maximalen Zylinderdrücke während der Verbrennung zu erhalten, wird der Ladedruck (angedeutet durch  $P_s$  in Fig. 2) — und dadurch auch die Ladungswechselsarbeit — erhöht, unter der Annahme, daß der Aufladewirkungsgrad genügend groß ist. Der Ladedruck  $P_s$  beim Betrieb — entsprechend Kurve B — ist erheblich tiefer, aber der Zylinderdruck am Ende des Ladungswechsels ist gleich wie jener nach Kurve A. Damit ist wieder angedeutet, daß die Zylinderfüllung beim Betrieb auf Kurve A reduziert ist.

Die spezielle Ventilsteuerung hat demnach eine Reduzierung des Brennstoffverbrauches zur Folge, weil zum einen die Kompressionsphase kürzer ist als die Expansionsphase und weil zum andern die Ladungswechselsarbeit erhöht ist, wie der Vergleich der Kurven A und B in Fig. 2 lehrt.

Anhand von Simulationsrechnungen für denselben Motor kann das Startverhalten der neuen Ventilsteuerung erklärt werden unter Verweis auf Fig. 3. Diese zeigt den Zylinderdruck ( $P_z$ ) als Funktion des Verhältnisses Zylinder-Volumen zu Kolbenhub-Volumen ( $V_z/V_h$ ) während des Einlaßhubes des Dieselmotors. Kurve A entspricht der Betrieb mit Einlaßventil-Schließflanke gemäß Kurve A in Fig. 1; Kurve B entspricht der Betrieb mit Einlaßventil-Schließflanke, gemäß Kurve B in Fig. 1. Der Ladedruck ist der Gleiche sowohl bei Kurve A als auch bei Kurve B. Bemerkenswert ist, daß der Zylinderdruck am Ende des Ladungswechsels gleich ist bei Kurve A und B. Damit ist angedeutet, daß die Zylinderfüllung beim Betrieb auf Kurven A und B gleich ist und daß man beim Starten des Motors ein hohes Verdichtungsverhältnis erzielt wird.

#### Patentanspruch

Verfahren zum Betreiben einer vorzugsweise hochaufgeladenen 4-Takt Brennkraftmaschine mit Ventilsteuerzeiten, welche so gewählt sind, daß im Indikatorgramm die Kompressionsphase kürzer ist als die Expansionsphase, dadurch gekennzeichnet, daß die Einlaßventile in ihrer Charakteristik im überwiegenden Verlauf eine übliche Einlaß-Schließflanke aufweisen, und daß vorzugsweise während der letzten 30% Ventilhub die Einlaßventile verzögert geschlossen werden, so daß der geometrische Schließpunkt zeitlich nach dem unteren Totpunkt liegt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

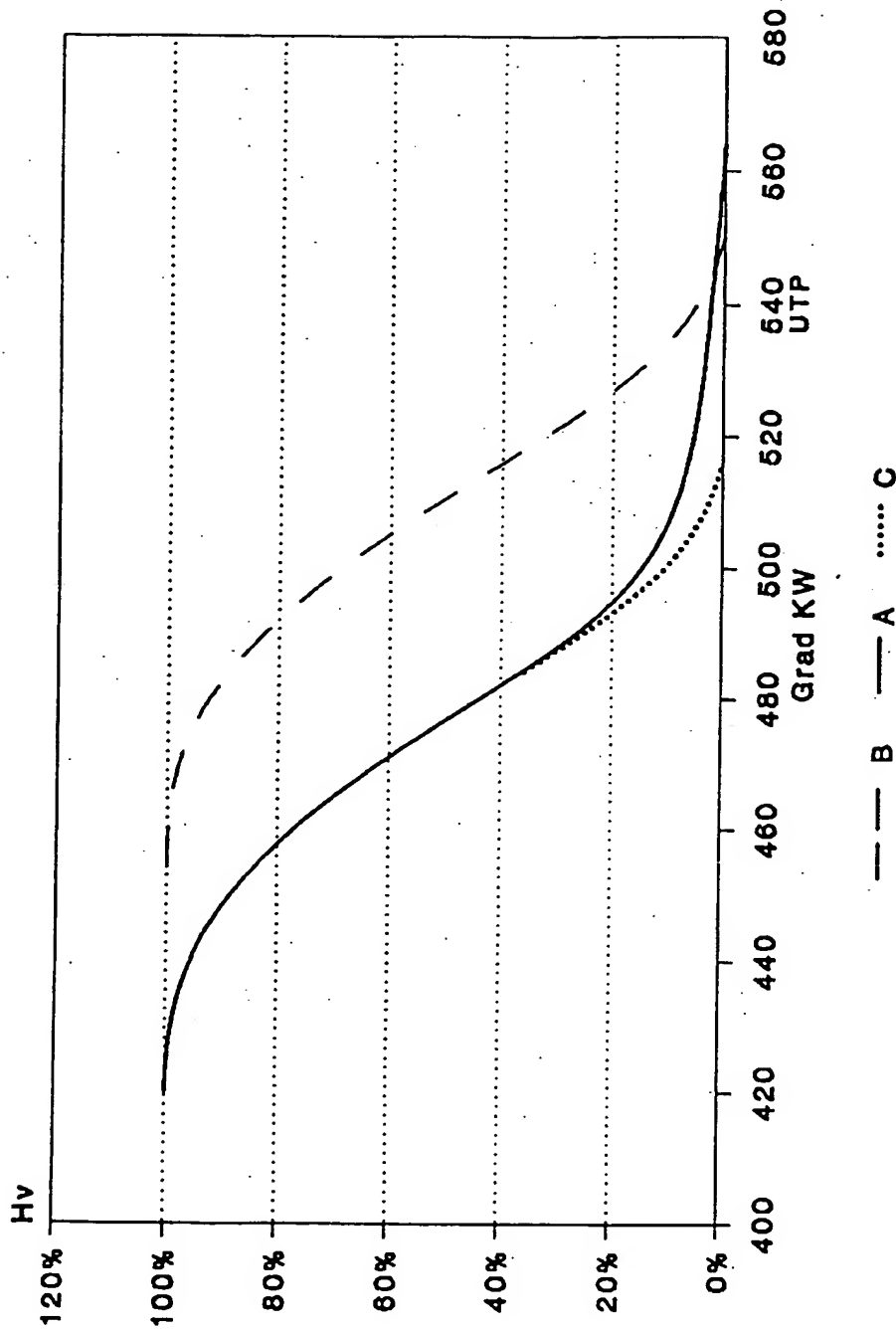


Fig.1

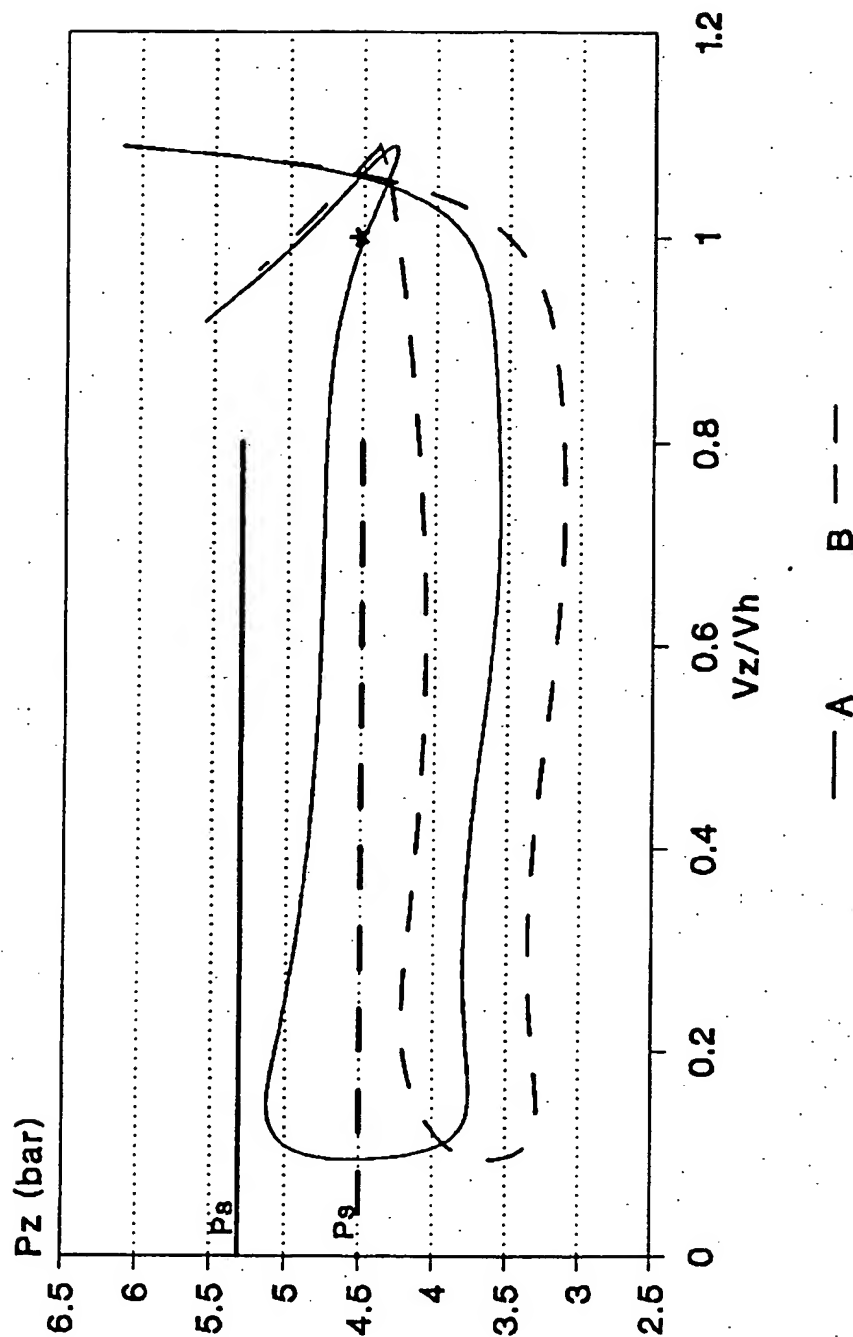


Fig. 2

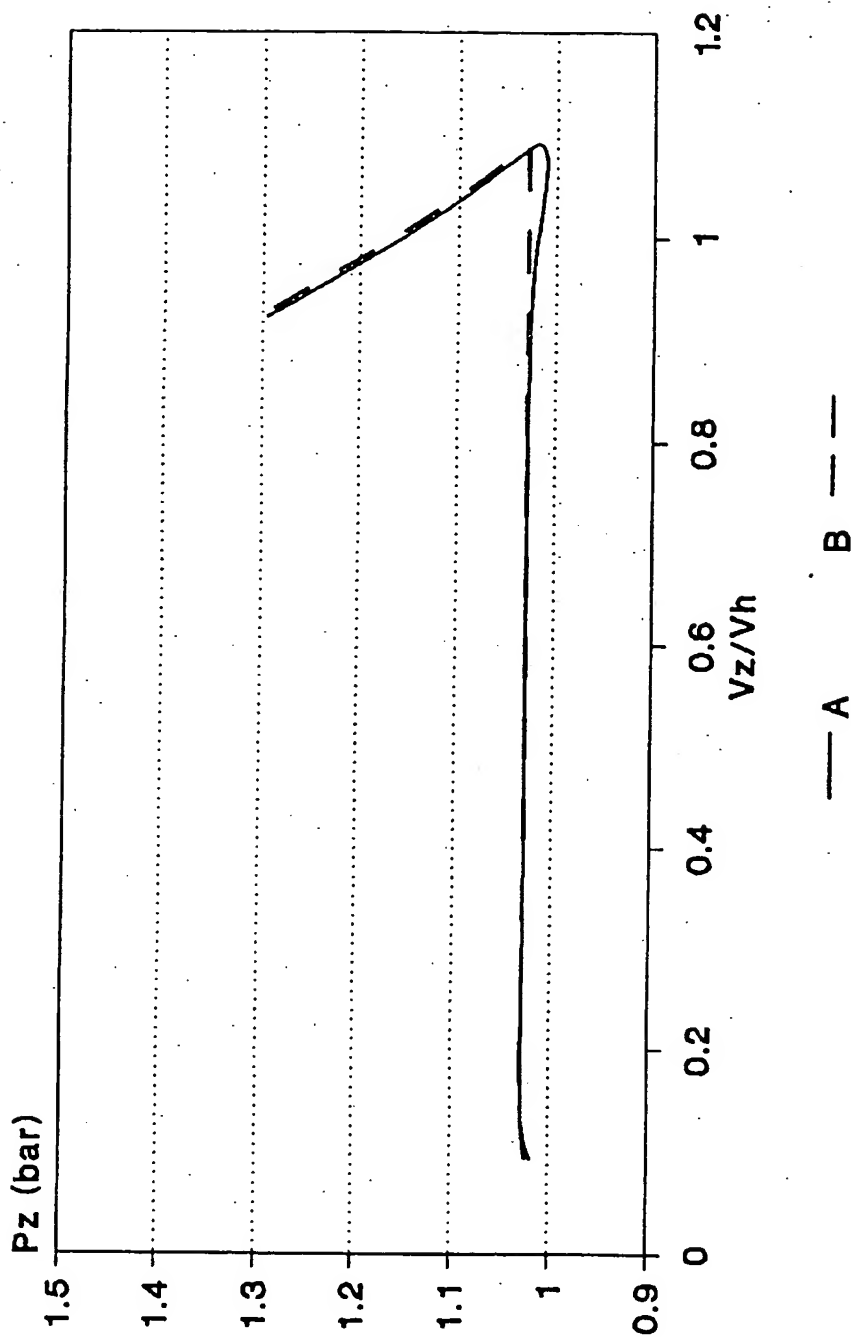


Fig. 3